

Pemodelan Dinamika Perkembangan Perkotaan dan Daya Dukung Lahan di Kawasan Cekungan Bandung

Dynamic Modelling of Urban Development and Land Carrying Capacity at Bandung Basin Area

Iwan Kustiwan¹ dan Almira Ladimananda

Diterima: 15 Desember 2011

Disetujui: 13 Januari 2012

Abstrak: Penelitian tentang dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lahan ini menggunakan model system dynamics yang dapat menghubungkan keterkaitan antar komponen secara kompleks serta meramalkan perilaku setiap variabelnya. Komponen yang digunakan dalam pemodelan ini adalah kependudukan, penggunaan lahan, banjir, dan daya dukung lahan. Hasil pemodelan menunjukkan perilaku model pada skenario dasar menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk memacu pertumbuhan kawasan terbangun, yang berakibat pada peningkatan limpasan air permukaan. Pertumbuhan kawasan terbangun meningkatkan daya tarik kawasan sehingga meningkatkan migrasi masuk dan meningkatkan pertumbuhan penduduk hingga luasan kawasan terbangun mencapai batas daya dukungnya pada tahun 2020. Untuk mengantisipasi terlampauinya batas daya dukung lahan, dikembangkan skenario kebijakan yang dapat memperpanjang masa terlampauinya batas daya dukung lahan, antara lain dengan intensifikasi lahan, pembatasan migrasi masuk, mencegah terjadinya alih fungsi lahan hutan, pertanian dan perkebunan; serta kebijakan gabungan Skenario kebijakan terbaik adalah kebijakan gabungan

Kata kunci: *perkembangan perkotaan, daya dukung lahan, system dynamics, skenariokebijakan.*

Abstract: This research of dynamics growth of urban area and land carrying capacity using system dynamics model that can relate all of components complexly has to be done, then we can forecast the behaviour of its variable to make a policy to solve the problem. The components that used in this research are population, land use, flood disaster, and land carrying capacity. Model behaviour shows that the population growth can raise the escalation of built up area, then result the growth of water run off. This escalation of built up area increasing the attraction of its area, so it increase immigration rate, and increase population so the built up area attains the limit of land carrying capacity at 2020. To anticipate the limitation of land carrying capacity, the policy scenarios were made. The scenarios can prolong the attainment of land carrying capacity limit, developing rural area outside Kawasan Cekungan Bandung and forbid the land use conversion from forest and agriculture land to become built up area, which couldn't attain but can preserve the green area; and last, the combination of all scenario. The best scenario is the combination of all.

Keyword: *urban growth; land carrying capacity; system dynamics; policy scenario*

¹ Kelompok Keahlian Perencanaan dan Perancangan Kota, SAPPK Institut Teknologi Bandung Labtek IX-A Lantai 2, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

Korespondensi: iwank@pl.itb.ac.id; kustiwan2003@yahoo.com

Pendahuluan

Indonesia seperti halnya negara-negara dunia ketiga lainnya, sedang mengalami pertumbuhan perkotaan yang pesat. Pada kurun 1980-1990 laju pertumbuhan penduduk perkotaan ini sebesar 5,38% pertahun jauh lebih besar dari laju pertumbuhan total yang hanya sebesar 1,98% pertahun; sementara pada kurun 1990-2000 sebesar 4,40% pertahun. *United Nations Population Fund* (2008) memperkirakan laju pertumbuhan penduduk Indonesia dalam kurun 2005-2010 dan 2010-2015 sebesar 3,34% dan 2,7% pertahun. Pertumbuhan perkotaan ini, terutama di kota besar dan metropolitan, secara fisik ditandai oleh pertumbuhan fisik kawasan perkotaan secara ekspansif ke kawasan pinggiran kota yang dikenal sebagai proses suburbanisasi. Adanya keterbatasan lahan di kawasan pusat/dalam kota menyebabkan kawasan pinggiran yang harga lahannya relatif murah menjadi lokasi utama untuk pembangunan perumahan baru dan kegiatan fungsional perkotaan lainnya. Namun, suburbanisasi yang terjadi cenderung menjadikan kawasan perkotaan secara fisik meluas secara acak/terpencar (*urban sprawl*) yang semakin tidak terkendali. Gejala *urban sprawl* yang ditandai dengan ekspansi kawasan terbangun yang lebih besar dibandingkan dengan laju pertumbuhan penduduk ini pada umumnya tidak diikuti oleh desentralisasi pusat kegiatan/lokasi tempat kerja secara proporsional. Oleh karena itu, jarak pergerakan yang harus dilakukan oleh penduduk kota semakin panjang. Dalam konteks inilah kemudian masalah yang terkait dengan tata ruang perkotaan, sistem transportasi dan lingkungan muncul: kebutuhan lahan untuk pengembangan perumahan yang menyebabkan *urban sprawl*, ketergantungan pada kendaraan bermotor yang semakin tinggi, kemacetan lalu-lintas, peningkatan konsumsi energi, serta pencemaran udara.

Kecenderungan perkembangan kawasan perkotaan yang berlangsung ekspansif dan *sprawl* pada dasarnya mengarah pada ketidak-berlanjutan lingkungan perkotaan yang diindikasikan dengan penurunan daya dukung lingkungan. Dalam kaitannya dengan perkembangan kota-kota metropolitan (kota raya), menjadi sangat penting untuk memahami dinamika perkembangan kawasan perkotaan, yang menyangkut perubahan fisik (dari kawasan tidak terbangun ke kawasan terbangun); perubahan fungsional (dari dominasi penggunaan lahan pertanian ke bukan-pertanian); perubahan spasial (dari kawasan kecil menjadi besar, baik secara horisontal maupun vertikal); perubahan sosial-ekonomi (dari sektor primer ke sektor industri, perdagangan dan jasa); perubahan demografis (dari kepadatan penduduk rendah ke kepadatan penduduk yang tinggi), serta dampaknya terhadap daya dukung dan daya tampung lingkungan wilayah dimana kawasan perkotaan tersebut mengalami perkembangan yang pesat. Dalam hal ini daya dukung lingkungan didefinisikan sebagai kemampuan lingkungan untuk mendukung perkembangan kegiatan perkotaan. Sedangkan daya tampung lingkungan adalah kemampuan lingkungan untuk menyerap pencemaran yang dihasilkan oleh kegiatan perkotaan. Daya dukung lingkungan yang mengalami degradasi sebagai konsekuensi perkembangan kawasan perkotaan terutama adalah sumber daya lahan dan air; sementara daya tampung lingkungan terutama terkait dengan pencemaran udara.

Berdasarkan latar belakang tersebut, fokus penelitian ini adalah memodelkan dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lingkungan, dengan fokus pada sumber daya lahan. Kerangka pemikiran dalam penelitian ini bertolak dari fakta bahwa perkembangan perkotaan secara ekspansif dan *sprawl* menimbulkan dampak berupa degradasi daya dukung lingkungan pada wilayah yang lebih luas. Perkembangan kawasan perkotaan secara fisik-spasial dipengaruhi oleh faktor-faktor dinamika perkotaan secara fisik, sosial-demografis, dan ekonomi, selain intervensi kebijakan penataan ruang kota. Terbentuknya struktur dan pola ruang kawasan perkotaan merupakan hasil interaksi antara kekuatan pasar dengan intervensi pemerintah kota melalui penataan ruang. Kecenderungan

perkembangan perkotaan secara ekspansif dan *sprawl* yang terjadi menunjukkan tingginya dinamika perkembangan yang lebih dikendalikan oleh mekanisme pasar, tidak efektifnya implementasi rencana tata ruang kota serta lemahnya pengendalian pemanfaatan ruang oleh pemerintah kota. Perkembangan kawasan perkotaan yang ekspansif dan berpola *sprawl* ini menimbulkan dampak terhadap lingkungan pada wilayah yang lebih luas, antara lain berkurangnya ruang terbuka hijau, berkurangnya lahan pertanian subur, efisiensi energi yang rendah karena meningkatnya ketergantungan pada kendaraan bermotor, dan pencemaran udara karena emisi gas buang kendaraan kemacetan lalu lintas yang meningkat. Penelitian ini menitikberatkan dampak perkembangan kawasan perkotaan ini pada daya dukung lahan yang mengalami degradasi secara spasial.

Sebagai gambaran, dinamika perkembangan perkotaan di Kawasan Cekungan Bandung dapat dilihat perkembangan di 4 kota dan kabupaten yang tercakup. Kota Bandung sebagai kota inti di KCB mempunyai penduduk 2.329.928 jiwa (2008). Jumlah penduduk ini meningkat dari 2.141.837 jiwa (Sensus Penduduk tahun 2000) dan 2.270.970 jiwa (2005). Dalam kurun 1990-2005, laju pertumbuhan penduduk Kota Bandung rata-rata sebesar 1,59% pertahun. Ditinjau dari kepadatan penduduk saat ini sebesar 139 jiwa/ha, Kota Bandung merupakan kota otonom terpadat (rata-rata kepadatan penduduk kota metropolitan di Indonesia adalah 81 jiwa/ha). Kota Cimahi yang secara fisik merupakan bagian dari konurbasi kota inti Bandung-Cimahi dalam KCB mempunyai penduduk 579.802 jiwa (2008). Pada tahun 2003, kota otonom baru ini mempunyai penduduk 483.364 jiwa, sehingga dalam kurun waktu lima tahun terakhir laju pertumbuhan penduduknya rata-rata 3,08% pertahun. Sementara itu 20 kecamatan di Kabupaten Bandung mempunyai sebesar 3.127.008 jiwa (2008). Ditinjau dari perkembangannya kawasan terbangun di Kota Bandung meluas hingga melampaui batas administrasi Kota. Dalam lingkup KCB, pada tahun 2004 sekitar 49.288,05 Ha lahan (14,41% dari luas KCB) di Kawasan Cekungan Bandung merupakan kawasan terbangun. Meskipun dalam lingkup KCB sebagian besar wilayahnya masih berupa kawasan tidak terbangun, di Kota Bandung dan Kota Cimahi yang merupakan kota inti dari sistem kota-kota di Kawasan Cekungan Bandung, sebagian besar wilayah administratif sudah merupakan kawasan terbangun. Di Kota Bandung kawasan terbangun sudah mencapai 71,11% dan Kota Cimahi sebesar 61,55% dari total luas wilayah. Sementara di Kabupaten Bandung (dan Kabupaten Bandung Barat) yang mencakup luas sebesar 89% dari total luas Kawasan Cekungan Bandung hanya 10,56% wilayahnya yang sudah menjadi kawasan terbangun. Secara spasial, kawasan terbangun di KCB menyebar dari kota inti ke kawasan pinggiran mengikuti pola jaringan transportasi dan menyebar secara acak (*sprawl*).

Berdasarkan latar belakang di atas, perlu dilakukan kajian yang mendalam tentang keterkaitan dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lingkungan. Dalam mengkaji keterkaitan tersebut, peneliti menggunakan metode dinamika sistem (*system dynamics*). Metode ini dipandang sesuai untuk digunakan karena dapat menggambarkan keterkaitan antar variabel yang dikaji dan interaksi dari antar komponen atau subsistem, kompleksitas keterkaitan yang tidak linear serta struktur *feedback loop* yang terjadi dalam sistem sosial dan sistem fisik. Setelah model terbentuk, peneliti akan mencoba memilih beberapa alternatif kebijakan yang dapat diuji pada model perilakunya sehingga dapat dipilih alternatif kebijakan yang paling optimal dalam rangka pengembangan kawasan perkotaan yang lebih berkelanjutan di Kawasan Cekungan Bandung. Dalam hal ini Kawasan Cekungan Bandung yang dijadikan sebagai kasus studi secara administrasi mencakup Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung dan Sumedang. Sebagai kawasan perkotaan metropolitan, kawasan ini mengalami pertumbuhan ekonomi dan fisik yang sangat pesat, namun dihadapkan pada keterbatasan daya dukung lingkungan, terutama lahan dan sumber daya air.

Tulisan ini didasarkan pada hasil penelitian pengembangan model dinamika perkembangan kawasan perkotaan dan dampaknya terhadap daya dukung lingkungan, dengan mengambil studi kasus di Kawasan Cekungan Bandung. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model dinamika perkembangan kawasan perkotaan dan dampaknya terhadap daya dukung lingkungan. Untuk mencapai tujuan tersebut, sasaran penelitian adalah (1) Menyusun konseptualisasi masalah dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lingkungan; (2) Menyusun model dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lingkungan; (3) Melakukan simulasi penerapan model dalam wilayah studi; dan (4) Melakukan validasi dan uji sensitivitas model dalam pengembangan berbagai skenario pengembangan kawasan perkotaan.

Metodologi

Penggunaan *System Dynamics* lebih menekankan pada tujuan pemahaman tentang bagaimana perilaku dimunculkan oleh struktur eksisting, serta bagaimana implikasi-implikasi perilaku yang dimunculkan pada saat sebuah kebijakan diintervensikan ke dalam struktur eksisting. Pemodelan dengan *System Dynamics* dilakukan secara bertahap dan iteratif (Robert et al, 1993, dalam Haryono, 2008). Beberapa langkah pemodelan yang dikenal, pada umumnya terdiri atas tahapan-tahapan (langkah atau prosedur), yaitu: (1) identifikasi dan definisi masalah; (2) konseptualisasi sistem; (3) perumusan model; (4) analisis perilaku model; (5) pengujian dan pengembangan model; dan (6) analisis kebijakan dan implementasi model (Tasrif, 2005; Sitompul, 2009).

Dalam pemodelan dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lahan dengan studi kasus Kawasan Cekungan Bandung, tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Identifikasi Masalah

Permasalahan utama dari pembuatan model ini adalah pemanfaatan lahan dalam perkembangan perkotaan yang tidak memperhatikan daya dukung lahan di Kawasan Cekungan Bandung. Perkembangan kegiatan pembangunan memerlukan lahan terjadi begitu pesat, namun terbatas oleh ketersediaan lahan. Sumber daya lahan bukanlah suatu sumber daya yang dapat diperbaharui, sehingga memiliki batas daya dukung. Terlebih lagi kondisi geografis di Kawasan Cekungan Bandung tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya. Suatu saat penggunaan lahan akan mencapai batas dari daya dukung tersebut.

Pencapaian batas pemakaian lahan tersebut belum diketahui kapan akan terjadi. Tujuan dari pembuatan model ini adalah untuk memodelkan perilaku variabel-variabel terkait agar dapat mensimulasikan keadaan di masa depan, sehingga dapat terlihat kapan batas daya dukung lahan terlampaui penggunaannya. Apabila sudah terbentuk struktur model yang menghubungkan aspek kependudukan dengan penggunaan lahan dan menggambarkan fenomena yang terjadi, kemudian dapat dirancang kebijakan-kebijakan pembangunan yang dapat menghindari terlewatnya batas daya dukung lahan di Kawasan Cekungan Bandung.

Struktur utama dari struktur dasar model yang perlu diamati adalah pola penduduk dengan penggunaan lahan. Penduduk memiliki kebutuhan akan lahan, dan perkembangan penduduk terjadi dengan cepat. Perkembangan ini mempengaruhi pemanfaatan lahan terbangun, yang juga akan mempengaruhi penduduk luar untuk bermigrasi ke dalam Kawasan Cekungan Bandung. Pemanfaatan lahan menjadi kawasan terbangun di kawasan hulu akan menyebabkan berubahnya guna lahan, dan akan meningkatkan limpasan air permukaan, sehingga terjadilah bencana banjir di kawasan hilir. Jika hal ini dibiarkan begitu saja, maka akan memberikan dampak yang negatif. Kawasan yang terkena banjir

bukan merupakan tempat yang nyaman lagi untuk berkegiatan, dan menyebabkan pindahnya penduduk ke tempat yang lebih aman, yang akan menambah angka migrasi keluar (Munir, 1981).

Tabel 1. Batasan Model Dinamika Perkembangan Perkotaan Dan Daya Dukung Lahan

<i>Variabel Endogen</i>	<i>Variabel Eksogen</i>	<i>Variabel di Luar Batas Model</i>
Imigrasi	Angka Imigrasi per tahun	Pendapatan per Kapita
Kelahiran	Angka Kelahiran pertahun	
Emigrasi	Angka Emigrasi per tahun	
Kematian	Angka Harapan Hidup	
Jumlah Penduduk		
	Daya Dukung Lahan	Daya Dukung Air
Guna Lahan Kawasan Terbangun, Lahan Hutan, Lahan RTH, Lahan Pertanian Perkebunan	Fraksi Alih Fungsi Lahan	Sungai, Danau, Waduk
Limpasan Air Permukaan	Koefisien Run off	
Korban Bencana Banjir		Korban Bencana Alam Lainnya

Batasan Model

Terdapat tiga peubah terukur yang membentuk subsistem dan memiliki hubungan timbal balik antar satu dengan yang lain, yaitu komponen kependudukan, komponen lahan dan alih fungsinya, serta bencana alam banjir. Walaupun model perkembangan perkotaan dengan daya dukung lahan dianalisis melalui ketiga subsistem tersebut, namun ada beberapa variabel yang tidak dimasukkan ke dalam cakupan analisis. Dalam hal ini yang dimasukkan ke dalam ketiga subsistem tersebut adalah unsur-unsur yang terlibat ke dalam perkembangan perkotaan dan daya dukung lahan. Batasan variabel untuk keseluruhan model tersebut akan digolongkan menjadi 3 variabel, yaitu endogen, eksogen, dan di luar batas model. Variabel endogen adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh interaksi dalam model yang tercakup dalam diagram umpan balik. Variabel eksogen adalah variabel yang mempengaruhi kecenderungan dinamika model tetapi tidak dipengaruhi model. Variabel di luar batas model adalah variabel yang tidak mempengaruhi model dan tidak dipengaruhi oleh model, namun dapat dimasukkan ke dalam model untuk menjawab tujuan yang berbeda.

Konseptualisasi Sistem

Pada model yang dikembangkan, pertumbuhan kawasan terbangun berbanding lurus dengan pertumbuhan penduduk. Penduduk memerlukan lahan untuk bermukim dan berkegiatan, dan pertambahannya juga akan mempengaruhi pertumbuhan kawasan terbangun pula. Hal ini tidak selamanya bersifat positif. Alokasi lahan untuk kawasan terbangun yang berasal dari lahan kosong akan habis, sehingga diperlukan alih fungsi lahan dari guna lahan lain seperti pertanian dan perkebunan, hutan, dan ruang terbuka hijau. Alih fungsi guna lahan ini juga memiliki implikasi negatif terhadap kondisi lingkungan. Pengurangan ruang terbuka hijau dan hutan yang memiliki kemampuan infiltrasi yang tinggi, akan meningkatkan limpasan air permukaan. Limpasan air permukaan yang meningkat tersebut tidak dapat ditampung atau diresap oleh guna lahan Kawasan Terbangun yang koefisien infiltrasi jauh lebih rendah daripada ruang terbuka hijau dan hutan. Air yang melimpas akan menyebabkan bencana banjir di beberapa lokasi yang

rawan banjir. Bencana alam banjir akan mempengaruhi angka emigrasi menjadi meningkat (Munir, 1981), yang kemudian akan memengaruhi pengurangan penduduk. Hubungan sebab-akibat yang dimodelkan lebih rinci dapat dilihat pada *causal loop diagram* berikut.

- a. **Loop 1**
Penduduk - kebutuhan ruang penduduk - kawasan terbangun -alokasi kawasan terbangun -limpasan air permukaan - luas genangan banjir – emigrasi -penduduk (-)
- b. **Loop 2**
Hutan - alih fungsi lahan dari hutan ke pertanian dan perkebunan -lahan pertanian dan perkebunan -alih fungsi lahan dari pertanian dan perkebunan ke kawasan terbangun - alokasi kawasan terbangun - alih fungsi lahan dari hutan ke kawasan terbangun-hutan(-)
- c. **Loop 3**
Hutan - alih fungsi lahan dari hutan ke kawasan terbangun - hutan (-)
- d. **Loop 4**
RTH- alih fungsi lahan dari RTH ke kawasan terbangun-RTH
- e. **Loop 5**
Penduduk - kebutuhan ruang penduduk - kawasan terbangun –imigrasi - penduduk (+)

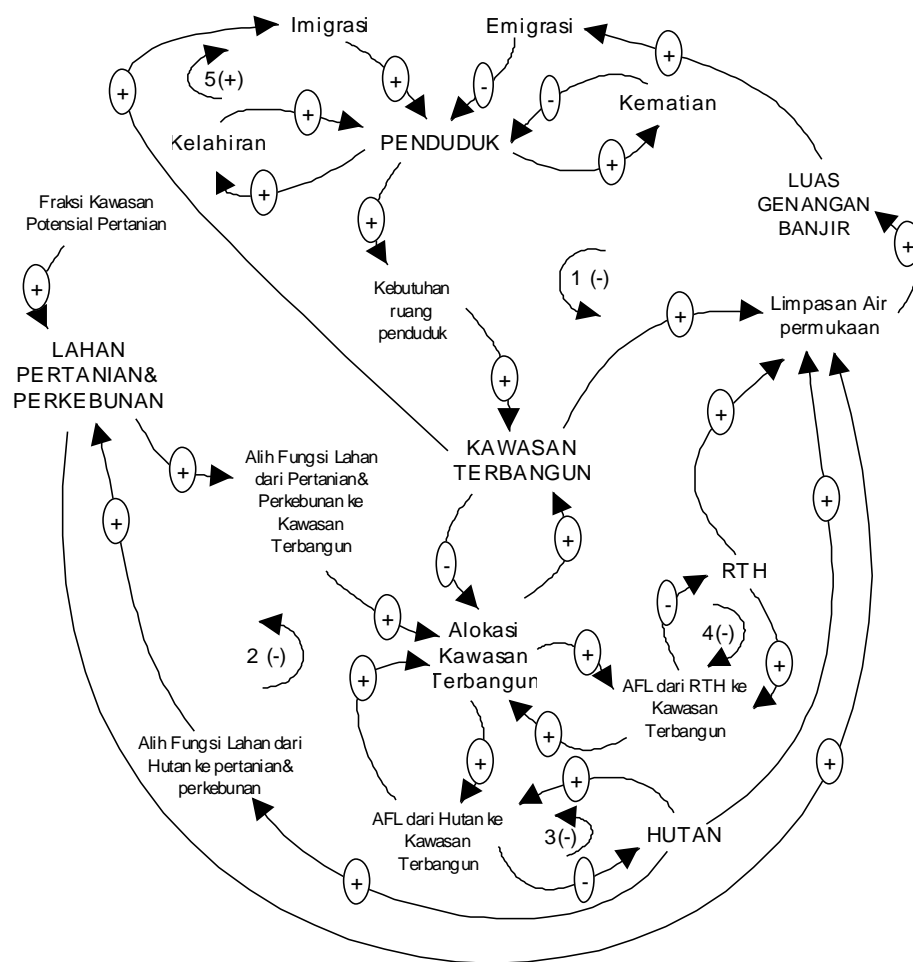
Submodel lahan terdiri dari 4 jenis guna lahan, yaitu lahan kawasan terbangun, lahan hutan, lahan pertanian dan perkebunan, serta lahan/ruang terbuka hijau (RTH). Cakupan keempat jenis guna lahan yang digunakan dalam pemodelan ini didasarkan pada peta liputan lahan Kawasan Cekungan Bandung, yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 2.

Dalam gambar 2 yang menggambarkan kaitan kausalitas dapat dilihat bahwa pertambahan lahan/kawasan terbangun terjadi akibat dari pertambahan kebutuhan lahan dari penduduk untuk bermukim dan berkegiatan. Alokasi lahan merupakan luasan lahan yang dialokasikan untuk kawasan terbangun, diperoleh dari alih fungsi lahan hutan, alih fungsi lahan pertanian dan perkebunan, serta alih fungsi lahan ruang terbuka hijau. Pada lahan hutan, terdapat batasan minimum untuk konversinya., sehingga lahan hutan tidak akan habis berubah menjadi guna lahan lain.

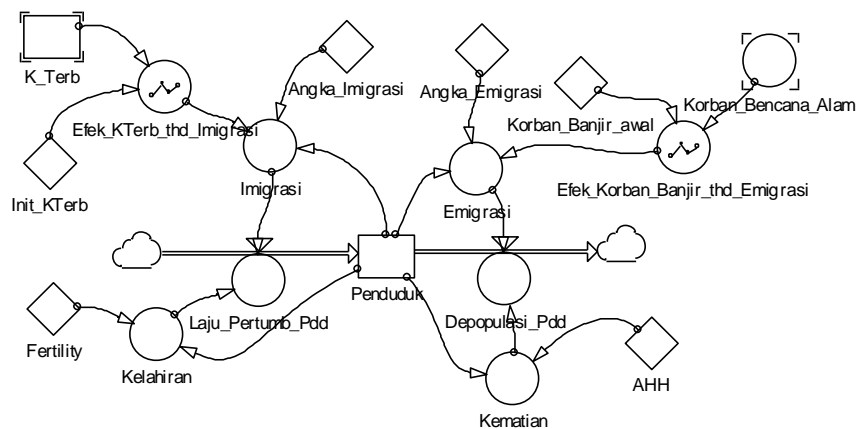
Submodel bencana banjir terdiri atas luas genangan banjir yang dipengaruhi oleh pemanfaatan guna lahan yang masing-masing memiliki *run-off*. Bencana banjir mempengaruhi pertumbuhan korban bencana banjir yang dapat meningkatkan angka emigrasi, yang berarti dapat membuat penurunan pada jumlah penduduk Kawasan Cekungan Bandung.

Tabel 2. Jenis Guna Lahan Di Kawasan Cekungan Bandung

Jenis guna lahan	Rincian guna lahan
Kawasan Terbangun	Permukiman Industri Pertambangan dan galian Perdagangan dan jasa
Lahan Hutan	Hutan lindung Hutan produksi
Lahan Pertanian dan Perkebunan	Sawah Ladang Perkebunan Kebun campuran
Ruang Terbuka Hijau	Padang rumput, ilalang, semak belukar

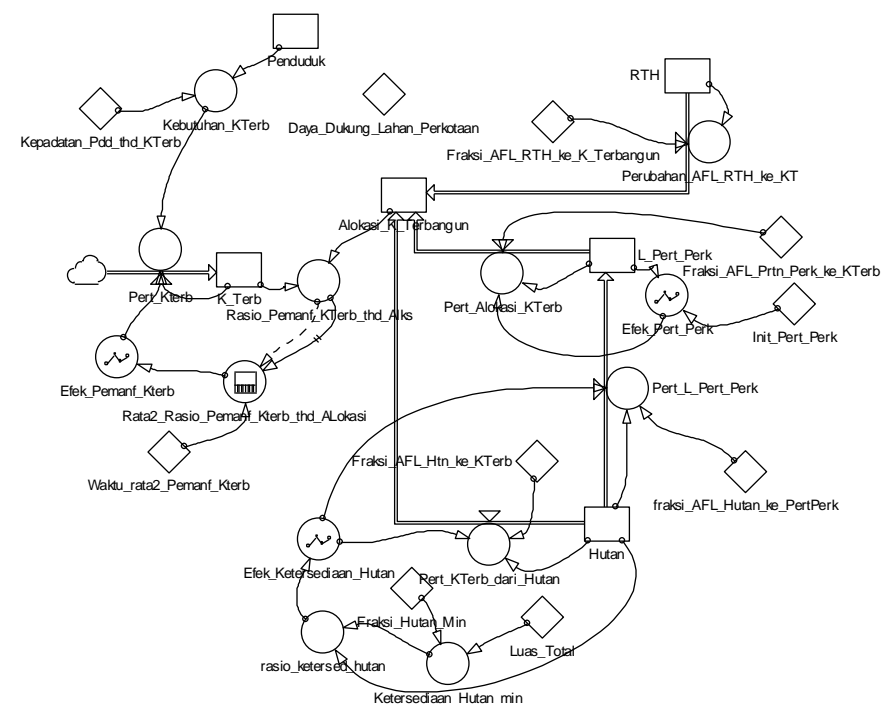


Gambar 2. Causal Loop Diagram Dinamika Perkembangan Perkotaan Dan Daya Dukung Lahan Di Kawasan Cekungan Bandung



Gambar 3. Stock Flow Diagram Submodel Kependudukan Kawasan Cekungan Bandung

Bencana alam banjir terjadi akibat berubahnya penggunaan lahan secara tidak terkendali yang berdampak peningkatan *run-off* atau limpasan air yang terjadi pada saat hujan. Pada saat terjadi hujan, air hujan sebagian tertampung pada kawasan tampungan air seperti sungai, danau, waduk, saluran drainase, dan sebagian terinfiltrasi ke dalam tanah. Curah hujan yang tidak tertampung dan tidak terinfiltrasi akan melimpas ke luar dari kawasan tampungan. Limpasan inilah yang akan menyebabkan banjir di kawasan yang rawan terkena limpasan. Setiap jenis guna lahan memiliki koefisien *run-off* yang berbeda-beda, karena daya serap atau daya infiltrasi dari suatu jenis lahan juga berbeda-beda. Oleh karena itu, semakin luas kawasan terbangun yang koefisien *run-off*-nya tinggi, dan semakin berkurangnya kawasan hijau seperti RTH, kawasan lindung, dan kawasan pertanian-perkebunan yang koefisien *run-off*-nya lebih rendah, akan menimbulkan besarnya air yang melimpas di permukaan, yang apabila tidak didukung dengan sistem drainase yang memadai terjadilah banjir.



Gambar 4 . *Stock Flow Diagram* Submodel Penggunaan Lahan Kawasan Cekungan Bandung

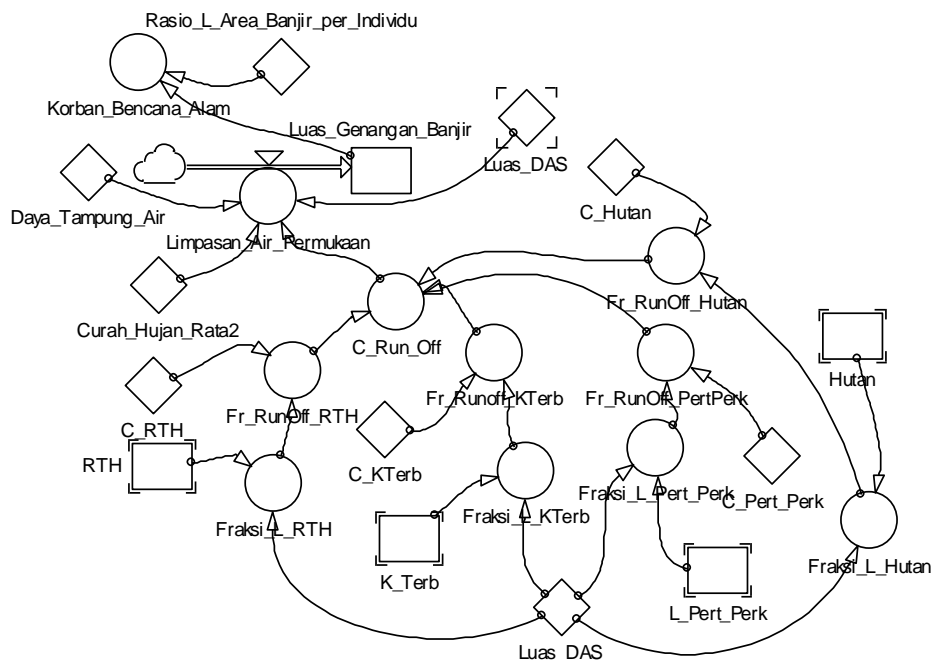
Pengujian Model

Kemampuan suatu model dalam mensimulasikan perilaku dunia nyata dapat dilakukan dengan penelitian secara kualitatif atau uji statistik. Untuk menguji sensitivitas model yang telah dibuat, maka dilakukan uji karakteristik statistik dengan menguji variabel populasi penduduk pada submodel penduduk, dan variabel lahan hutan pada submodel penggunaan lahan.

Hasil perhitungan statistik variabel populasi penduduk dilakukan dengan membandingkan data historis dengan data hasil simulasi model, dan menghasilkan tingkat kesalahan modul berdasarkan nilai kuadrat rata-rata persentase kesalahan (*root mean*

square percent error, RMSPE). Dalam hal ini nilai RMSPE= 0,26 %, dan $r = 0,99$. Dengan angka hasil pengujian ini, maka model kependudukan cukup tinggi tingkat validasinya.

Hasil perhitungan statistik perbandingan antara data historis dan data hasil simulasi model untuk lahan hutan dengan cara yang sama, menunjukkan nilai RMSPE= 0,23 % dan $r = 0,99$. Dengan angka hasil pengujian tersebut, maka model dapat dikatakan tinggi tingkat validasinya.



Gambar 5. Stock Flow Diagram Submodel Bencana Banjir Kawasan Cekungan Bandung

Tabel 3. Data Populasi Penduduk Historis Dan Simulasi Di Kawasan Cekungan Bandung

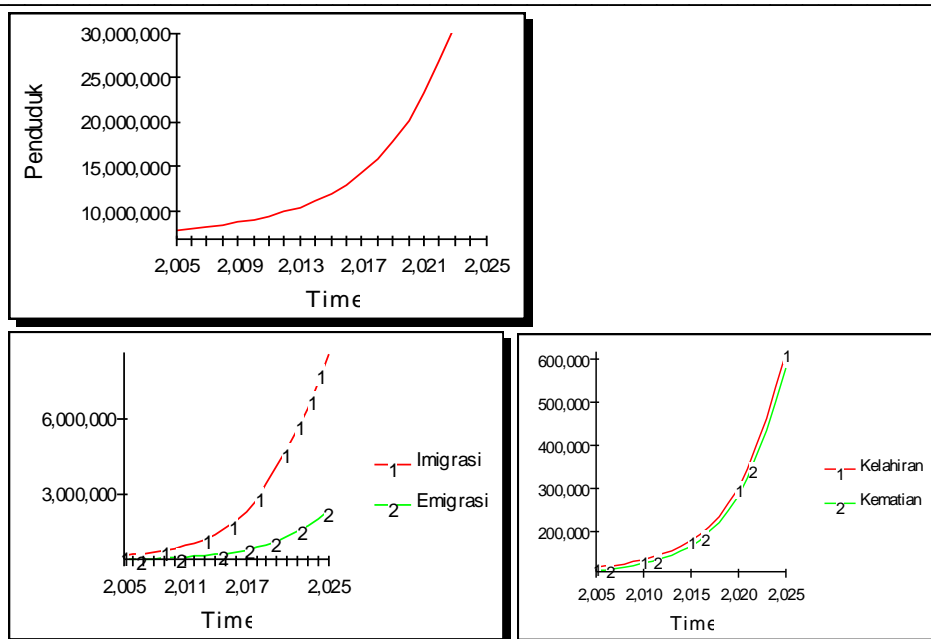
Variabel	Data Historis				Data Simulasi				Nilai r
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008	
Penduduk	8084922	829254	8492653	869868	8084922	8258834	8469814	871083	0,99
				1				9	
Luas Hutan	88645	tad	tad	83639	88645			83365	0,99

Keterangan: tad=tdak ada data

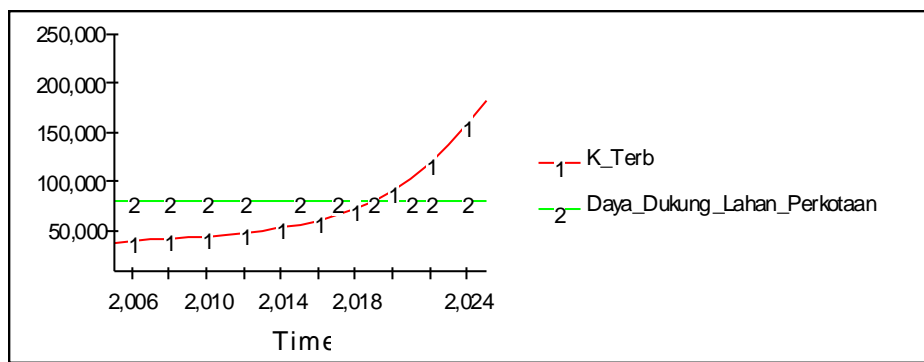
Temuan: Analisis Perilaku Model

Pengamatan terhadap perilaku model dilakukan dalam kurun waktu 2005 sampai tahun 2025. Kecenderungan perilaku historis yang terjadi sebelumnya dimulai dari tahun 1994 sampai 2008. Hal ini dikarenakan oleh perkembangan kawasan terbangun mulai meningkat sejak tahun 1994. Kemudian simulasi historis dilanjutkan hingga tahun 2008 untuk melihat perkembangan perilaku setelah banyaknya kawasan terbangun. Simulasi dilanjutkan sampai tahun 2025 untuk melihat kondisi daya dukung lahan di Kawasan

Cekungan Bandung dengan adanya kecenderungan tersebut dalam 20 tahun ke depan. Perilaku pertumbuhan penduduk di Kawasan Cekungan Bandung dapat dilihat pada Gambar 7. Pertumbuhan penduduk ini merupakan pemicu kebutuhan kawasan terbangun untuk bermukim maupun berkegiatan. Dapat dilihat pada gambar tersebut, pertumbuhannya cenderung cepat. Kesenjangan antara kelahiran dan kematian memang kecil, namun *gap* antara imigran dan emigran terlihat cukup jauh. Pertumbuhan penduduk yang cepat ini cenderung karena banyaknya imigran yang masuk ke Kawasan Cekungan Bandung.



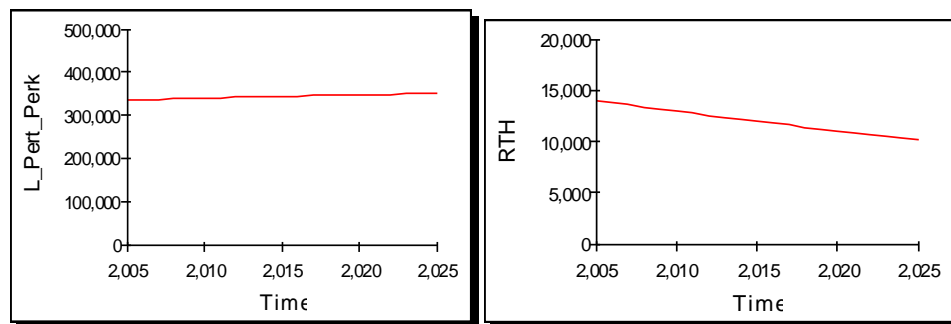
Gambar 7 . Grafik Pertumbuhan Penduduk, Angka Imigrasi, Emigrasi, Kelahiran, Dan Kematian Kawasan Cekungan Bandung 2005-2025



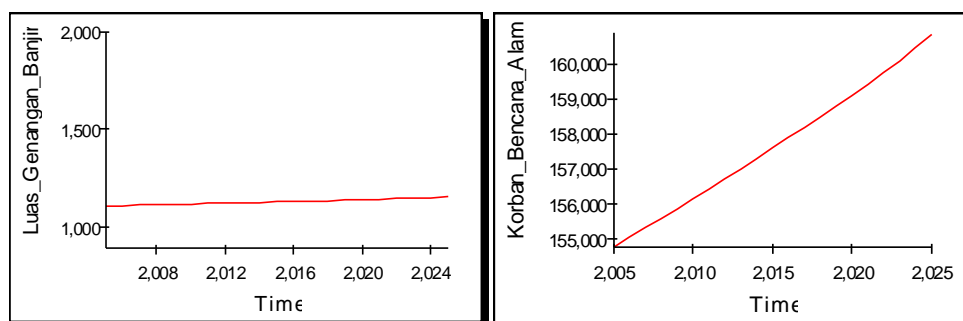
Gambar 8. Grafik Pertumbuhan Kawasan Terbangun Dengan Batas Daya Dukung Kawasan Cekungan Lahan Bandung 2005-2025

Perilaku pertambahan Kawasan Terbangun dapat dilihat pada gambar 8. Dapat dilihat bahwa Kawasan Terbangun terus bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Kawasan Cekungan Bandung. Namun, tidak semua lahan di Kawasan Cekungan Bandung dapat dijadikan sebagai lahan terbangun, oleh karena itu terdapat batasan daya dukung lahan perkotaan. Daya dukung lahan perkotaan memiliki luas 83.056,44 Ha (Distarkim, 2005) akan dilewati limitasinya pada tahun 2020 nanti. Pada tahun 2020, luasan kawasan terbangun diramalkan akan mencapai angka 92.379.99 Ha, jauh melebihi angka daya dukung lahan. Pada saat itu sudah tidak tersedia lahan lagi yang dapat dijadikan sebagai lahan terbangun, padahal jumlah penduduk terus meningkat.

Lahan hutan terus menurun dari tahun ke tahun karena terus dijadikan sebagai alokasi lahan untuk kawasan terbangun dan kawasan pertanian dan perkebunan. Lahan RTH juga terus berkurang karena dijadikan sebagai alokasi lahan untuk kawasan terbangun. Walaupun Lahan pertanian dan perkebunan juga dijadikan sebagai alokasi lahan kawasan terbangun, lahan tersebut juga mendapat alokasi lahan dari lahan hutan, sehingga keberadaannya terus bertambah walaupun tidak secara signifikan.



Gambar 9. Grafik Perubahan Lahan Hutan, Perkebunan, Dan Rth Di Kawasan Cekungan Bandung 2005-2025



Gambar 10. Grafik Perkembangan Luas Genangan Banjir Dan Korban Bencana Alam Banjir Di Kawasan Cekungan Bandung 2005-2025

Perubahan lahan diramalkan akan berubah setiap tahunnya. Kawasan yang terus bertambah adalah kawasan terbangun dan kawasan pertanian dan perkebunan. Koefisien *run off* pada kawasan terbangun dan kawasan pertanian dan perkebunan relatif lebih tinggi daripada jenis guna lahan lainnya. Dengan semakin meningkatnya luas lahan kedua jenis lahan tersebut, maka akan menambah *run off* pada Kawasan Cekungan Bandung

Tabel 4. Perbandingan Hasil Perilaku Model Kebijakan Dengan Skenario Dasar

No.	Skenario	Variabel Tambahan	Hasil
1	Dasar	Tanpa Intervensi	Pertambahan penduduk terus meningkat Pertambahan Kawasan Terbangun terus meningkat Lahan Pertanian dan Perkebunan terus meningkat, Lahan Hutan dan RTH menurun Daya dukung lahan terlewati pada tahun 2020 Luas Genangan Banjir dan Korban terus bertambah
2	Kebijakan Intensifikasi Kawasan Terbangun, yaitu membangun hunian vertikal agar kepadatan penduduk meningkat dan mengurangi kebutuhan akan lahan	I: Meningkatkan kepadatan (intensifikasi) kepadatan penduduk bersih dari 194 jiwa/ha ke 232 jiwa/ha	Pertambahan penduduk menurun 2,8%, Pertambahan Kawasan Terbangun menurun 16,4%, Tidak berpengaruh terhadap Lahan Pertanian dan Perkebunan, Lahan Hutan dan RTH, Daya dukung lahan terlewati pada tahun 2025 Pertambahan Luas Genangan Banjir dan Korban berkurang dengan persentase sangat kecil
3	Kebijakan Pengembangan Kawasan Perdesaan di luar Kawasan Cekungan Bandung, agar angka imigrasi dapat ditekan dengan majunya daerah asal para migran	II: Menurunkan angka imigrasi dari 0,07 ke 0,06	Pertambahan penduduk menurun 2,8% Pertambahan Kawasan Terbangun menurun 13,6% Tidak berpengaruh terhadap Lahan Pertanian dan Perkebunan, Lahan Hutan dan RTH, Daya dukung lahan terlewati pada tahun 2022 Hampir tidak mempengaruhi Luas Genangan Banjir dan Korban
4	Kebijakan Menghindari terjadinya AFL Lahan Hutan dan Lahan Pertanian dan Perkebunan ke Kawasan Terbangun	III: Menurunkan fraksi AFL Hutan dan Pertanian dan Perkebunan menjadi 0	Pertambahan penduduk menurun dengan persentase sangat kecil Tidak berpengaruh terhadap Kawasan Terbangun Pertumbuhan Lahan Pertanian dan Perkebunan meningkat 0,25%, Pengurangan Lahan Hutan menurun menjadi 0.7% Pengurangan RTH meningkat 3%, Daya dukung lahan terlewati pada tahun 2020 Hampir tidak berpengaruh terhadap Luas Genangan Banjir dan Korban
5	Kebijakan Gabungan	Gabungan dari kebijakan I,II, dan III.	Pertambahan penduduk berkurang 5,1% Pertambahan Kawasan Terbangun menurun 17,5% Pertumbuhan Lahan Pertanian dan Perkebunan meningkat 0,25%, Pengurangan Lahan Hutan menurun menjadi 0.7% Pengurangan RTH meningkat 3%, Daya dukung lahan terlewati pada tahun 2030 Pertambahan Luas Genangan Banjir dan Korban menurun dengan persentase sangat kecil

Pertambahan *run off* ini akan menyebabkan limpasan air semakin besar dan menyebabkan banjir. Perilaku komponen luas genangan banjir dapat dilihat pada gambar 10. Grafik tersebut menunjukkan bahwa luas genangan banjir akan terus meningkat, seiring dengan korban bencana alam banjir.

Perilaku model sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa kawasan terbangun akan melewati batas dari daya dukung lahan perkotaan pada tahun 2020. Untuk mencegah terjadinya hal tersebut, maka diperlukan kebijakan-kebijakan yang dapat dijadikan saran untuk pemerintah dalam merencanakan dan mengelola Kawasan Cekungan Bandung di masa depan. Kebijakan-kebijakan yang dipaparkan belum tentu sepenuhnya dapat memecahkan masalah, namun juga dapat mengulur waktu terjadinya masalah, serta meminimalisir dampak yang akan terjadi. Kebijakan yang ditawarkan adalah kebijakan intensifikasi kawasan terbangun, kebijakan pengembangan kawasan perdesaan di luar Kawasan Cekungan Bandung, kebijakan peniadaan alih fungsi lahan hutan dan pertanian dan perkebunan ke kawasan terbangun, serta gabungan dari ketiga kebijakan tersebut. Berdasarkan simulasi model, perilaku antara perilaku skenario dengan kebijakan-kebijakan yang diterapkan akan dibandingkan dalam tabel 4 diatas.

Dari simulasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa perilaku yang terbaik jika dilihat dari waktu terlampauinya batasan daya dukung lahan perkotaan ada pada penerapan Kebijakan Gabungan, yang dapat menunda terlampauinya batas daya dukung lahan hingga tahun 2030. Kebijakan kedua terbaik adalah kebijakan I, yang dapat menunda terlampauinya batas daya dukung lahan hingga tahun 2025. Kebijakan ketiga terbaik adalah kebijakan II, yang dapat menunda terlampauinya batas daya dukung lahan hingga tahun 2022. Sedangkan kebijakan III dinilai baik dalam preservasi kawasan hijau demi keberlanjutan lingkungan di Kawasan Cekungan Bandung.

Namun kebijakan yang paling optimal, yaitu kebijakan yang tidak memiliki banyak kesulitan dalam penerapannya namun tetap menunda waktu terlampaui batas daya dukung lahan, adalah kebijakan I, yaitu kebijakan intensifikasi lahan. Hal ini dikarenakan oleh dapat menunda waktu terlampauinya batas daya dukung hingga tahun 2025. Kebijakan ini sesuai dengan kebijakan yang telah ada yaitu pada Rencana Kerja Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Barat tahun 2011 yang menyatakan bahwa kebijakan pembangunan yang berkaitan dengan ketersediaan dan kualitas infrastruktur wilayah diarahkan pada membangun prasarana dasar permukiman hunian vertikal khususnya di perkotaan. Begitu juga pada Rencana Tata Ruang Wilayah Metropolitan Bandung tahun 2005, arahan pemanfaatan ruang, khususnya pada Wilayah Bandung, Cimahi, dan Rancaekek yang merupakan kawasan perkotaan, adalah pengembangan permukiman intensif (vertikal).

Kesimpulan

Hasil penelitian mengenai dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lahan di Kawasan Cekungan Bandung menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan pertumbuhan lahan permukiman, lahan industri, dan lahan perdagangan dan jasa menjadi meningkat pula. Meningkatnya luas penggunaan lahan tersebut secara keseluruhan meningkatkan luasan kawasan terbangun. Namun Kawasan Cekungan Bandung memiliki batas daya dukung lahan yang semestinya membatasi luasan kawasan terbangun yang dapat dikembangkan. Ketika kawasan terbangun mencapai batas luasan daya dukung lahan, maka kawasan terbangun tidak dapat bertambah lagi padahal populasi penduduk dan kegiatan yang menyertainya terus bertambah.

Pemenuhan kekurangan lahan kawasan terbangun berasal dari alih fungsi guna lahan lainnya seperti hutan, lahan pertanian dan perkebunan, serta ruang terbuka hijau. Pemenuhan kekurangan lahan lahan pertanian dan perkebunan berasal dari alih fungsi guna lahan hutan. Alih fungsi guna lahan secara terus menerus memiliki pengaruh dalam peningkatan limpasan air permukaan, karena tiap jenis guna lahan memiliki koefisien *run*

off yang berbeda-beda. Limpasan air permukaan yang tidak dapat ditampung akan menyebabkan bencana banjir, sehingga penambahan kawasan terbangun yang berasal dari alih fungsi guna lahan lainnya akan memicu terjadinya bencana banjir.

Hubungan antar komponen yang membentuk model dinamika perkembangan perkotaan dikaitkan dengan keterbatasan daya dukung lingkungan di Kawasan Cekungan Bandung, dapat mensimulasikan perkembangan perkotaan dari aspek kependudukan, penggunaan lahan, bencana banjir, dan daya dukung lahan sesuai dengan kondisi nyata. Tiap komponen tersebut saling berkaitan dan bergerak secara dinamis, sehingga apabila satu komponen mengalami perubahan maka komponen lainnya juga akan berubah secara positif atau negatif tergantung dari hubungan keterkaitannya. Dari hasil simulasi model, diketahui komponen kawasan terbangun akan melewati batas daya dukung lahan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, luasan kawasan terbangun akan mencapai 92.379.99 Ha, jauh melebihi batas daya dukung lahan perkotaan yaitu 83.056,44 Ha (Distarkim Jawa Barat, 2005). Hal ini menunjukkan bahwa kecenderungan penggunaan lahan terbangun di Kawasan Cekungan Bandung selama ini belum mempertimbangkan batas daya dukung lahan untuk keberlanjutannya, sehingga perlu diintervensi dengan beberapa skenario kebijakan untuk menggeser atau menunda waktu terlampauinya batas daya dukung lahan perkotaan. Dalam hal ini, dihasilkan beberapa skenario yang mencakup: (1) kebijakan intensifikasi lahan (pengembangan hunian vertikal); (2) kebijakan pengemdoman kawasan perdesaan; (3) kebijakan pencegahan alih fungsi lahan (hutan dan pertanian); serta (4) kebijakan gabungan. Skenario kebijakan yang paling optimal adalah kebijakan intensifikasi lahan.

Berdasarkan hasil pemodelan dinamika perkembangan perkotaan dan daya dukung lahan ini, rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemerintah daerah yang terkait di Kawasan Cekungan Bandung adalah perlunya segera diterapkannya kebijakan intensifikasi lahan dalam pengembangan perkotaan yang menempatkan daya dukung lahan secara lebih dinamis. Dalam hal ini perlu upaya peningkatan kepadatan penduduk atau intensifikasi kawasan terbangun. Hal ini berguna untuk meningkatkan kemampuan lingkungan perkotaan untuk mendukung pertumbuhan penduduk dan aktivitasnya agar kebutuhan akan lahan per-kapita menjadi berkurang. Kebijakan intensifikasi lahan ini pada dasarnya dapat menunda waktu terlampauinya batas daya dukung lahan perkotaan. Penerapan dari kebijakan ini bisa dilakukan dengan pembangunan hunian vertikal di kawasan dalam kota yang pada dasarnya dapat mengurangi tekanan terhadap kecenderungan alih fungsi lahan pertanian di pinggiran kota menjadi kawasan terbangun.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian *Pemodelan Dinamika Perkembangan Perkotaan dan Daya Dukung Lingkungan (Kasus Studi Kawasan Perkotaan di Cekungan Bandung)* yang dilakukan Kelompok Keahlian Perencanaan dan Perancangan Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan Institut Teknologi Bandung, pada tahun 2010. Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Institut Teknologi Bandung yang membiayai penelitian ini melalui dana Riset Kelompok Keahlian. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada para asisten peneliti: Astri Aulia, Adisti Madella, serta Almira Ladimananda, Indah Puspita, Pudja Handika, dan Reka Masa; yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Haryono, Slamet. 2008. *Dinamika Lahan Pertanian dalam Perekonomian Kota Tangerang, Suatu Pendekatan System Dynamics*. Tesis. Bandung: Program Magister Studi Pembangunan SAPPK ITB.
- Munir, Rozy. (1981). *Migrasi*. dalam *Dasar-dasar Demografi*, Penerbit FEUI, Jakarta.
- Sitompul, D. Rislina F. 2009. *Merancang Model Pengembangan Masyarakat Pedesaan dengan Pendekatan System Dynamics*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

- Tasrif, Muhammad. 2005. Analisis Kebijakan Menggunakan Model System Dynamics Modul Kuliah/Kursus. Bandung: Program Magister Studi Pembangunan.
- Distarkim Provinsi Jawa Barat. 2005. Rencana Tata Ruang Wilayah Metropolitan Bandung 2005. Dinas Tata Ruang dan Permukiman Provinsi Jawa Barat.
- Distarkim Provinsi Jawa Barat. 2005. Laporan Penunjang Sektor Struktur dan Pola Pemanfaatan Ruang. Dinas Tata Ruang dan Permukiman Provinsi Jawa Barat.